饲喂3种锌源对湘东黑山羊生长性能及羊奶的成分、氨基酸和脂肪酸含量的影响[1]

郑梦莉[1,2]　李四元[1*]　张佩华[1**]　陈　东[1]　王凯军[1,2]　颜琼娴[2,3**]　周传社[2,4]

（1.湖南农业大学动物科学技术学院,畜禽遗传改良湖南省重点实验室，长沙 410128；2.中国科学院亚热带农业生态研究所，亚热带农业生态过程重点实验室；畜禽养殖污染控制与资源化技术国家工程实验室；湖南省畜禽健康养殖工程技术研究中心；农业部中南动物营养与饲料科学观测实验站；长沙 410125；3.湖南省植物功能成分利用协同创新中心，长沙 410128；4.湖南畜禽安全生产协同创新中心，长沙 410128)

摘　要：本试验旨在研究不同锌源（硫酸锌、蛋氨酸螯合锌和甘氨酸螯合锌）对湘东黑山羊生长性能及羊奶的成分、氨基酸和脂肪酸含量的影响。选取体重（38.1±9.7) kg、胎次相近的21只怀双羔妊娠湘东黑山羊（妊娠日龄在90~100 d），随机分为3组，即硫酸锌组（对照组）、蛋氨酸螯合锌组和甘氨酸螯合锌组。各组基础饲粮组成相同（锌含量22.00 mg/kg DM），并且各组锌添加量均为60 mg/kg DM。预试期为7 d，正试期为42 d。正试期3组母羊分别饲喂不同锌源饲粮，产后母羊饲喂无添加锌源的饲粮，母羊产后15 d采集奶样。结果表明：1）与对照组相比，蛋氨酸螯合锌组和甘氨酸螯合锌组母羊总增重和平均日增重显著增加（$P<0.05$)；2）与对照组相比，蛋氨酸螯合锌组和甘氨酸螯合锌组羊奶体细胞数量、乳脂肪、乳蛋白、乳糖、尿素氮、去脂干物质含量差异不显著（$P>0.05$），但蛋氨酸螯合锌组羊奶

收稿日期：2018-04-09

[1]基金项目：湖南省科技计划“三区”人才项目（2016NK3007）；湖南省科技计划（2016NK2171）；中国科学院亚热带农业生态研究所青年创新团队（2017QNCXTD_ZCS）

作者简介：郑梦莉（1993—），女，陕西渭南人，硕士研究生，从事反刍动物营养研究。E-mail: 15200925980@163.com

*共同第一作者

**通信作者：张佩华，副教授，硕士生导师，E-mail: peiqin41-@163.com；颜琼娴，助理研究员，E-mail:yanqx14@isa.ac.cn

总干物质含量显著提高（P＜0.05)；3）与对照组相比，蛋氨酸螯合锌组和甘氨酸螯合锌组羊奶氨基酸含量差异不显著（P＞0.05）；4）与对照组相比，蛋氨酸螯合锌组羊奶正己酸、辛酸、月桂酸、十三酸、γ-亚麻酸含量显著提高（P＜0.05)，甘氨酸螯合锌组羊奶木蜡酸、顺-11-二十烯酸、γ-亚麻酸含量显著提高（P＜0.05)。综上，蛋氨酸螯合锌可增加羊奶中的总干物质含量，甘氨酸螯合锌可降低羊奶中单不饱和脂肪酸、多不饱和脂肪酸含量且都可提高妊娠母羊总增重和平均日增重，说明补饲蛋氨酸螯合锌和甘氨酸螯合锌均可提高妊娠母羊的生长性能并改变羊奶品质。

关键词：锌源；生长性能；羊奶；氨基酸；脂肪酸；湘东黑山羊

中图分类号：S826　　　　文献标识码：　　　　文章编号：

锌是动物机体不可缺少的微量元素，DNA 复制、蛋白质转录和翻译阶段等过程都离不开锌。妊娠期的母羊 70%都处于缺锌状态，缺锌会造成羔羊初生重偏低、成活率下降[1-2]。由于胎儿的生长发育依赖母体提供营养物质，因此只有给母体补锌才能满足胎儿正常发育需求。研究表明，胎儿的神经细胞需要锌，锌可参与控制心脏功能的大脑区域（如脑干和下丘脑）的发育和功能[3]。此外，锌可作为辅助因子，辅助叶酸共轭酶作用，干扰食物中的天然叶酸与聚谷氨酰链结合，从而促进天然叶酸被机体消化吸收。

当硫酸锌以离子形式进入肠道后，肠道 pH 环境因素会使其与植酸、钙等其他成分反应，使硫酸锌变成不溶解的物质影响消化和吸收。再者，硫酸锌是以离子形式被机体吸收，对肠壁刺激较大，机体储存的锌较少，从而降低了机体对锌的吸收利用。蛋氨酸是反刍动物的必需氨基酸，也是第一限制性氨基酸。反刍动物补充蛋氨酸锌，主要是降低蛋氨酸锌在反刍动物瘤胃中的降解率，有利于肠道对锌更好的消化吸收。甘氨酸是反刍动物的非必需氨基酸，补饲甘氨酸锌，作用基本和蛋氨酸锌一致，但相比较硫酸锌，机体对甘氨酸的吸收作用更迅速。小肠细胞刷状缘从肠腔中摄取锌，然后锌进入细胞和细胞内锌池作用，再穿过基膜进入血液循环，一部分血锌最后形成乳锌。王林枫等[4]研究发现，奶山羊添加相同水平的锌，氨

基酸锌的消化率高于硫酸锌。Aliarabi 等[5]研究表明，添加锌可提高羔羊平均日增重和饲料转化率。许多研究认为，锌在体内主要以有机形式发挥作用，一般情况下有机锌的利用率比无机锌高，它可增加血清中总蛋白、球蛋白和葡萄糖含量及碱性磷酸酶活性[6-14]。硫酸锌、蛋氨酸锌、甘氨酸锌都是动物生产中普遍应用的饲料添加剂，有机锌较无机锌利用率高。研究表明，锌源和锌的剂量可影响山羊增重，但不影响采食量[15]。Nayeri 等[16]报道，荷斯坦奶牛妊娠期补饲蛋氨酸锌可增加产奶量。Formigoni 等[17]研究报道，荷斯坦奶牛干奶期和哺乳期用有机微量矿物质代替硫酸盐可以增加初乳中的免疫球蛋白和乳脂含量，并降低犊牛死亡率。蛋氨酸螯合锌补充剂可以增强奶山羊对乳房应激的抵抗力[18]，但对山羊尤其是地方品种湘东黑山羊的相关研究较少。因此，本试验旨在比较 3 种不同锌源对湘东黑山羊生长性能、羊奶的成分、氨基酸和脂肪酸含量的影响。

1　材料与方法

1.1　试验设计

选取体重（38.1±9.7) kg、胎次相近的 21 只怀双羔妊娠湘东黑山羊（妊娠日龄在 90~100 d），随机分为 3 组，即硫酸锌组（对照组）、蛋氨酸螯合锌组和甘氨酸螯合锌组，每组 7 个重复。预试期 7 d，正试期 45 d（妊娠 106 d 至分娩）。

1.2　试验饲粮

基础饲粮参照 NRC(2007)妊娠后期母羊营养需要量（母羊体重 30 kg、产双羔、干物质采食量为 1.05 kg/d）进行配制。试验分别在基础饲粮（锌含量 22.00 mg/kg DM）中添加硫酸锌、蛋氨酸螯合锌、甘氨酸螯合锌，每组锌添加量为 60 mg/kg DM，各试验饲粮锌总含量均为 82 mg/kg DM。粗料为新鲜冬芒，试验饲粮组成及营养水平见表 1。精粗比为 60:40。

表 1　试验饲粮组成及营养水平（干物质基础）

Table 1　Composition and nutrient levels of experimental diets (DM basis)　　%

项目 Items	硫酸锌组 ZnSO$_4$ group	蛋氨酸螯合锌组 Zn-Met group	甘氨酸螯合锌组 Zn-Gly group
原料 Ingredients			
冬芒 Dongmang	40.00	40.00	40.00
玉米 Corn	34.66	34.66	34.66
豆粕 Soybean meal	11.74	11.74	11.74
脂肪粉 Fat powder	4.49	4.49	4.49
大豆浓缩蛋白 Soy protein concentrate	5.03	5.03	5.03
碳酸氢钙 Ca(HCO$_3$)$_2$	0.50	0.50	0.50
石粉 Stone powder	0.84	0.84	0.84
预混料 Premix[1)]	2.34	2.34	2.34
食盐 NaCl	0.40	0.40	0.40
合计 Total	100.00	100.00	100.00
营养水平 Nutrient levels[2)]			
干物质 DM	91.79	92.36	92.17
粗蛋白质 CP	17.76	16.74	18.72
粗脂肪 EE	2.50	3.04	3.14
酸性洗涤纤维 ADF	29.30	27.85	31.24
中性洗涤纤维 NDF	45.42	43.78	47.64
粗灰分 Ash	10.47	10.58	10.65
锌 Zn/(mg/kg)	82.00	82.00	82.00

62 [1)] 每千克预混料含有 One kg of premix contained the following：VA 100 000 IU，VD$_3$ 15

000 IU，VE 300 IU，1% I (as potassium iodide) 0.1996 g, 1% Se (as sodium selenite) 0.02 g，$CuSO_4\cdot 5H_2O$ 0.04 g，$FeSO_4\cdot H_2O$ 0.14 g，$MnSO_4\cdot H_2O$ 0.38 g.

2)营养水平为实测值。Nutrient levels were measured values.

1.3 饲养管理

试验母羊单笼饲喂，自由饮水，正试期间每天记录母羊的采食量。妊娠母羊和分娩的羔羊的免疫消毒程序按养殖场的常规方法进行。饲粮分别于 08：00、06：00 饲喂。

怀孕母羊产羔后，所有哺乳母羊饲喂相同基础饲粮，饲粮中不添加锌源，目的是排除锌源对哺乳母羊和子代羔羊生长发育的影响。

1.4 饲粮成分的测定

正试期采集饲粮样品，混匀后分别测定饲粮的干物质、灰分、粗蛋白质、粗脂肪、粗纤维含量，常规测定参照张丽英[19]的方法。

1.5 奶样相关指标的测定

1.5.1 奶样采集

母羊产后 15 d 采集奶羊，分别于饲喂后 1 h 采集。用酒精消毒乳头，挤掉头把奶，然后收集奶样。早上和下午的羊奶混匀，并加入防腐剂，放置 4 ℃冰箱储存，3 d 内送检。

1.5.2 羊奶常规成分测定

采用 Basic Unit MilkoScan FT+ Type-76150 仪器测定羊奶常规成分，主要包括体细胞数目、乳脂肪、乳蛋白、乳糖、尿素氮、去脂干物质和总干物质含量。

1.5.3 羊奶氨基酸含量测定

采用氨基酸分析仪（日立 L8900）测定。具体步骤为：水解管中加入 5 mL 奶样，加入 10 mL 6 mol/L 的 HCl，于 110 ℃烘箱中放置 24 h；放冷后，转移置于 100 mL 容量瓶中，取 1 mL 于 65 ℃水浴锅中蒸干，通过 0.01 mol/L 的 HCl 复溶，过滤，稀释 5 倍，测样。

1.5.4 羊奶脂肪酸含量测定

采用气相色谱测定，检测方法按照 GB 5009.168-2016 进行。气相色谱仪：具有氢火焰离子检测器（FID)。

1.6 数据统计与分析

试验数据采用 Excel 2007 进行数据整理，采用 SPSS 19.0 软件进行单因素方差分析，通过 Duncan 氏法进行多重比较。试验结果采用“平均值±标准误”（mean±SE）表示，P<0.05 表示差异显著，P>0.05 为差异不显著。

2 结 果

2.1 不同锌源对妊娠母羊生长性能的影响

由表 2 可知，与对照组相比，蛋氨酸螯合锌组和甘氨酸螯合锌组母羊总增重和平均日增重显著提高（P<0.05)，但两组之间差异均不显著（P>0.05）；母羊干物质采食量、初始体重、终末体重差异均不显著（P>0.05）。

表 2 不同锌源对妊娠母羊生长性能的影响

Table 2 Effects of different zinc sources on growth performance of pregnant ewes

项目 Items	硫酸锌组 $ZnSO_4$ group	蛋氨酸螯合锌组 Zn-Met group	甘氨酸螯合锌组 Zn-Gly group
干物质采食量 DMI/(kg/d）	1.30±0.17	1.26±0.11	1.29±0.16
初始体重 Initial body weight/kg	36.10±2.27	39.68±2.23	40.75±3.13
终末体重 Final body weight/kg	39.42±3.10	46.00±1.97	46.86±3.87
总增重 Total weight gain/kg	3.27±0.49^{b}	6.32±0.91^{a}	7.45±0.34^{a}
平均日增重 ADG/（g/d）	78.00±11.88^{b}	150.60±11.76^{a}	177.40±8.28^{a}

同行数据肩标不同小写字母表示差异显著（P<0.05)，相同或者无字母表示差异不显著（P>0.05），下表同。

In the same row, values with different small letter superscripts mean significant difference

（P＜0.05), while with the same or no letter superscript mean no significant difference（P＞0.05）.

The same as below.

2.2 不同锌源对羊奶成分的影响

由表3可知，与对照组相比，蛋氨酸螯合锌组羊奶的总干物质含量显著提高（P＜0.05），体细胞数目、乳脂肪、乳蛋白、乳糖、尿素氮、去脂干物质含量无显著差异（P＞0.05）；甘氨酸螯合锌组羊奶的各个成分含量差异均不显著（P＞0.05）。

表 3　不同锌源对羊奶成分的影响

Table 3　Effects of different zinc sources on goat milk composition

项目 Items	硫酸锌组 $ZnSO_4$ group	蛋氨酸螯合锌组 Zn-Met group	甘氨酸螯合锌组 Zn-Gly group
体细胞数目 Count of somatic cells/（千个/mL）	69.60±29.11	57.00±48.01	99.40±24.92
乳脂肪 Milk fat/%	6.91±0.34	8.13±0.39	7.15±0.64
乳蛋白 Milk protein/%	4.65±0.45	4.62±0.47	3.97±0.21
乳糖 Lactose/%	5.23±0.19	5.04±0.20.	5.21±0.08.
尿素氮 Urea nitrogen/（mg/dL）	35.93±0.77	37.80±2.62	35.82±1.08
去脂干物质 Fat-free dry matter/%	10.58±0.29	11.53±1.15	9.91±0.18
总干物质 Total dry matter/%	16.83±0.28^{b}	18.98±1.12^{a}	16.39±0.60^{b}

2.3 不同锌源对羊奶氨基酸含量的影响

由表 4 可知，与对照组相比，蛋氨酸螯合锌组和甘氨酸螯合锌组羊奶中必需氨基酸含

量、非必需氨基酸、总必需氨基酸、总非必需氨基酸和总氨基酸含量差异均不显著（$P>0.05$）。

表 4　不同锌源对羊奶氨基酸含量的影响

Table 4　Effects of different zinc sources on amino acid contents of goat milk　　g/kg

项目 Items	硫酸锌组 $ZnSO_4$ group	蛋氨酸螯合锌组 Zn-Met group	甘氨酸螯合锌组 Zn-Gly group
必需氨基酸 EAA			
丝氨酸 Thr	0.14±0.01	0.13±0.01	0.14±0.04
缬氨酸 Val	0.09±0.01	0.09±0.01	0.09±0.01
异亮氨酸 Ile	0.12±0.01	0.13±0.01	0.12±0.01
亮氨酸 Leu	0.06±0.01	0.07±0.01	0.06±0.01
赖氨酸 Lys	0.08±0.01	0.08±0.01	0.08±0.01
酪氨酸+苯丙氨酸 Tyr+Phe	0.28±0.02	0.28±0.03	0.28±0.03
蛋氨酸+胱氨酸 Met+Cys	0.34±0.02	0.34±0.03	0.34±0.10
非必需氨基酸 NEAA			
天冬氨酸 Asp	0.09±0.01	0.09±0.01	0.09±0.01
丝氨酸 Ser	0.13±0.01	0.13±0.01	0.13±0.02
谷氨酸 Glu	0.04±0.01	0.04±0.01	0.34±0.03
甘氨酸 Gly	0.32±0.02	0.31±0.04	0.32±0.04
丙氨酸 Ala	0.19±0.01	0.18±0.02	0.18±0.02
组氨酸 His	0.24±0.01	0.24±0.02	0.24±0.02
精氨酸 Arg	0.22±0.02	0.21±0.02	0.22±0.03
脯氨酸 Pro	0.06±0.01	0.06±0.01	0.06±0.01

总必需氨基酸 TEAA	1.20±0.08	1.18±0.11	1.18±0.14
总非必需氨基酸 TNEAA	1.28±0.08	1.26±0.11	1.27±0.15
总氨基酸 TAA	2.39±0.15	2.37±0.21	2.3.68±0.27

2.4 不同锌源对羊奶中脂肪酸含量的影响

由表 5 可知，与对照组相比，蛋氨酸螯合锌组羊奶中饱和脂肪酸、单不饱和脂肪酸、多不饱和脂肪酸含量差异均不显著（$P>0.05$），但正己酸、辛酸、月桂酸、十三酸、γ-亚麻酸含量显著提高（$P<0.05$)；甘氨酸螯合锌组羊奶中单不饱和脂肪酸、多不饱和脂肪酸含量显著降低（$P<0.05$)，饱和脂肪酸含量差异不显著（$P>0.05$），但顺-11-二十烯酸、γ-亚麻酸和木蜡酸含量显著提高（$P<0.05$)。

表 5 不同锌源对羊奶脂肪酸含量的影响

Table 5 Effects of different zinc sources on fatty acid contents of goat milk mg/kg

项目 Items	硫酸锌组 $ZnSO_4$ group	蛋氨酸螯合锌组 Zn-Met group	甘氨酸螯合锌组 Zn-Gly group
丁酸 Butyric acid	978.00±49.31	1 283.83±111.91	1 101.40±147.63
正己酸 n-hexanoic acid	1 065.66±34.14[b]	1 548.00±52.47[a]	1 104.50±177.47[b]
辛酸 Caprylic acid	1 258.33±49.55[b]	1 806.00±58.87[a]	1 169.25.±170.94[b]
癸酸 Decanoic acid	4 098.33±274.12	5 500.60±240.87	4 177.50±873.85
十一酸 Undecanoic acid	57.50±12.42	64.01±6.11	41.76±6.26
月桂酸 Lauric acid	1 853.50±165.86[b]	2 606.66±198.74[a]	1 742.33±277.26[b]
十三酸 Tridecanoic acid	52.16±7.79[b]	58.15±4.90[a]	40.06±3.60[b]
五甲基呋喃溴酸 Pentamethylfuran bromate acid	3 981.66±288.94	3 881.66±793.10	3 619.50±559.37

肉豆蔻脑酸 Myristoleic acid	50.11±6.41	80.50±23.91	55.72±8.81
十五烷酸 Pentadecanoic acid	485.40±53.87	491.80±49.17	362.83±36.86
棕榈酸 Palmitic acid	10 776.66±573.49	14 460.00±1735.10	11 456.00±953.27
棕榈油酸 Palmitoleic acid	222.50±28.25	327.00±76.87	326.80±28.38
十七烷酸 Heptadecanoic acid	425.66±50.26	506.57±42.88	615.00±4.72
硬脂酸 Stearic acid	7 670.00±566.39	7 786.00±344.04	6 740.00±598.58
油脂酸 Oils acid	10 885.00±1194.57	13 933.33±1959.02	16 096.00±1882.07
反亚油酸 Linolelaidic acid	46.16±4.39	50.45±4.81	57.08±6.43
亚油酸 Linoleic acid	1 147.50±82.04	1 290.33±86.84	1 001.00±77.00
花生酸 Arachidic acid	131.26±13.75	165.10±24.58	114.03±10.35
γ-亚麻酸 γ-linolenic acid	12.56±0.93[c]	18.74±1.25[ab]	19.12±3.02[a]
顺-11-二十烯酸 cis-11-eicosenoic acid	101.55±10.82[b]	133.50±8.40[b]	228.12±19.07[a]
亚麻酸 Linolenic acid	25.38±1.35	28.31±3.02	23.45±2.66
二十一烷酸 Heneicosanoic acid	23.78±1.45	29.16±2.16	22.88±1.72
11,14-二十碳二烯酸 11,14-eicosadienoic acid	24.38±2.42	28.03±6.62	28.62±2.83
山嵛酸 Behenic acid	37.04±2.02	48.26±6.52	31.72±3.41
顺-8,11,14-二十烷三烯酸 cis -8,11,14-octadecenoic acid	12.30±1.07	16.12±3..17	16.90±2.62
11,14,17-顺-二十碳三烯酸 11,14,17-cis-icotrienoic acid	41.80±7.72	31.00±8.06	27.33±8.71
二十三酸 Triclosanic acid	169.76±13.39	226.60±20.66	197.80±22.92
花生四烯酸 Arachidonic acid	21.50±3.33	22.92±1.60	15.76±1.40

木蜡酸 Lignoceric acid	23.92±3.00[b]	31.60±7.49[b]	69.43±11.92[a]
二十碳五烯酸 Timnodonic acid	8.65±1.23	8.98±1.18	6.54±0.69
顺-15-十四酸 cis-15-myristic acid	8.39±1.53	13.32±2.82	15.05±6.83
二十二碳六烯酸 Docosahexaenoic acid	27.25±4.59	36.86±3.47	36.28±10.60
饱和脂肪酸 SFA	1 769.82±52.16[ab]	2 011.86±310.48[a]	1 532.38±129.48[b]
单不饱和脂肪酸 MUFA	1 909.56±78.70[a]	2 084.44±135.50[a]	1 311.80±146.91[b]
多不饱和脂肪酸 PUFA	4 004.07±152.55[a]	4 367.42±303.09[a]	3 155.00±273.50[b]

3 讨 论

3.1 硫酸锌、蛋氨酸螯合锌和甘氨酸螯合锌对妊娠期母羊生长性能的影响

硫酸锌组、蛋氨酸螯合锌组和甘氨酸螯合锌组母羊干物质采食量没有显著差异，这和吴宁等[20]在哺乳母猪上的研究结果相一致，说明对照组和试验组饲粮有相似适口性。本试验中，蛋氨酸螯合锌组和甘氨酸螯合锌组母羊的总增重和平均日增重显著高于对照组，说明有机锌组在促进妊娠母羊生长性能方面优于无机锌组。任二军等[21]研究表明，育成期雄性水貂的饲粮中分别添加 60 mg/kg 硫酸锌和 60 mg/kg 蛋氨酸螯合锌日增重无显著影响，这和本试验结果不一致。

3.2 硫酸锌、蛋氨酸螯合锌和甘氨酸螯合锌对羊奶常规成分的影响

硫酸锌、蛋氨酸锌和甘氨酸锌都是动物补锌的饲料添加剂。妊娠后期氨基酸的吸收主要用于乳蛋白的合成。牛奶中 90%以上的蛋白质是在乳腺组织中由摄取的氨基酸从头合成的，乳蛋白的合成主要受制于 2 个因素，即可利用氨基酸和能量。蛋氨酸是采食玉米和豆粕原料饲粮的反刍动物的第一限制性氨基酸。本试验发现，蛋氨酸锌组总干物质含量比对照组高 2.15 个百分点，同时乳脂肪含量有所升高，但差异不显著。一方面原因可能是蛋氨酸螯合锌增加了肠道对蛋氨酸的吸收效率，从而增加了乳腺组织中可利用氨基酸的总量；另一方面原

因可能是过瘤胃蛋氨酸促进肝脏和乳腺氨基酸代谢，氨基酸可代谢成为乙酰辅酶 A，合成脂肪酸，然后转化成乳脂。我们的研究结果与以往的研究并不完全相同。以往的研究发现，中国荷斯坦奶牛通过阴外动脉进行氨基酸灌注，试验组的乳脂率较对照组显著提高了 5.92%，但 2 组之间产奶量和牛奶其他成分差异不显著[22]。Faulkner 等[23]饲喂有机螯合锌、锰、铜组奶牛的初乳含有更多的免疫球蛋白，而微量元素补充对初乳中微量矿物质的含量没有显著影响，使乳脂肪含量增加 4.4%，而牛奶产量、蛋白质含量和体细胞数量不受处理影响。毕晓华等[24]研究发现，在日产奶 19 kg 的泌乳奶牛饲粮中添加 60 g/d 过瘤胃保护蛋氨酸对奶牛乳蛋白、乳脂率、产奶量、体细胞数量、4%脂肪校正乳和乳非脂固形物含量均无显著影响。Wang 等[25]研究表明，泌乳牛补饲氨基酸螯合锌对采食量、牛奶成分以及体细胞数量差异均不显著，与对照组相比，添加量较少和最多组的产奶量显著增加。Griffiths 等[26]研究表明，补充复合螯合锌、锰、铜、钴，牛奶产量、能量、乳脂率、牛奶粗蛋白质和乳非脂固形物含量均显著增加，然而，牛奶的乳成分以及体细胞数量差异不显著。Sobhanirad 等[27]研究发现，奶牛的牛奶和脂肪校正牛奶产量尽管观察到数值的增加，但和锌的来源无关；乳蛋白、乳糖、乳脂肪、总乳非脂固形物含量和牛奶密度百分比均差异不显著，但蛋氨酸锌组的奶牛体细胞数量和脂肪校正更低。本试验中，蛋氨酸锌组的羊奶中的总干物质含量显著增加，可能是由于羊奶中灰分含量增加，水分含量减少，而其余成分未改变有可能是羊奶中锌、铁、磷等微量元素含量增加。本试验表明，湘东黑山羊妊娠后期补饲蛋氨酸锌可以增加羊奶中的总干物质含量。

3.3 硫酸锌、蛋氨酸螯合锌和甘氨酸螯合锌对羊奶氨基酸含量的影响

本试验研究表明，湘东黑山羊妊娠后期添加不同锌源对羊奶中氨基酸含量影响不显著。乳蛋白形成过程包括 2 个途径：一是由血清蛋白转移而来；二是由乳腺上皮细胞从血液中吸收的氨基酸和葡萄糖转化的氨基酸合成而来，其中，第 2 种途径占到 90%以上。本试验发现，与对照组相比，蛋氨酸螯合锌组和甘氨酸螯合锌组乳蛋白和乳糖含量差异均不显著。因

此，羊奶中氨基酸含量差异不显著可能与乳蛋白和乳糖含量差异不显著相关，乳腺中的部分生糖氨基酸包括蛋氨酸和甘氨酸均可用于形成乳糖，其余均为乳蛋白形式存在。毕晓华等[24]研究发现，饲粮添加 60 g/d 过瘤胃保护蛋氨酸对牛奶氨基酸组成的影响差异不显著，这和本试验结果相一致。

3.4 硫酸锌、蛋氨酸螯合锌和甘氨酸螯合锌对羊奶脂肪酸含量的影响

牛奶脂肪酸的变化可能是反映奶牛健康和能量状态的指标[28]。合成乳脂肪的物质基础是乳成分前体物（乙酸、β-羟丁酸，游离脂肪酸等）。饲粮的消化、转化形成乳脂合成前体物，经瘤胃发酵、消化道吸收、肝脏代谢等途径，最终在乳腺被利用合成乳脂。乳脂的主要成分是甘油三酯，它是由脂肪酸和α-磷酸甘油在乳腺上皮细胞合成的。脂肪酸经过小肠上皮细胞吸收后再运输到各组织被利用，直接影响哺乳幼仔的物质和能量代谢。研究表明，正己酸、辛酸和癸酸是羊奶膻味的主要来源，本试验中蛋氨酸螯合锌组正己酸、辛酸含量显著高于对照组，且癸酸含量有高于对照组的趋势，说明山羊饲粮中补饲蛋氨酸螯合锌可调节羊奶的风味。与对照组相比，蛋氨酸螯合锌组饱和脂肪酸组成差异并不显著，而甘氨酸螯合锌组显著降低。山羊饲粮中补充氨基酸螯合锌可能会降低羊奶中的饱和脂肪酸含量，可降低能量，从而降低羊奶中的胆固醇和中性脂肪含量。甘氨酸螯合锌组单不饱和脂肪和多不饱和脂肪酸含量都显著低于对照组，而蛋氨酸螯合锌组和对照组差异不显著，因此，山羊补饲蛋氨酸螯合锌和硫酸锌可能会使羊奶在降低胆固醇的同时更容易酸败。本试验中，蛋氨酸螯合锌组饱和脂肪酸中的月桂酸、十三酸含量高于对照组，γ-亚麻酸含量高于对照组，蛋氨酸螯合锌组的癸酸、棕榈酸、二十一烷酸、山嵛酸含量有高于对照组的趋势。本试验可说明不同锌源能影响中长链脂肪酸的含量，且饲粮中添加蛋氨酸螯合锌和甘氨酸螯合锌效果更明显。

4 结 论

湘东黑山羊妊娠后期饲喂蛋氨酸螯合锌可增加羊奶中的总干物质、正己酸、辛酸、月桂酸、十三酸、γ-亚麻酸含量；饲喂甘氨酸螯合锌可增加顺-11-二十烯酸和γ-亚麻酸含量并

降低羊奶中单不饱和脂肪酸、多不饱和脂肪酸含量且两者均可显著增加母羊的总增重和平均日增重，说明补饲蛋氨酸螯合锌和甘氨酸螯合锌均可改善母羊生长性能并改变羊奶品质。

参考文献：

[1] APGAR J,TRAVIS H F.Effect of a low zinc diet on the ewe during pregnancy and lactation[J].Journal of Animal Science,1979,48(5):1234–1238.

[2] MASTERS D G,MOIR R J.Effect of Zinc deficiency on the pregnant ewe and developing foetus[J].British Journal of Nutrition,1983,49(3):365–372.

[3] ZADE S,MANI V,DEKA R S,et al.Energy metabolites,lipid variables and lactation performance of periparturient murrah buffaloes (*Bubalus bubalis*) fed on diet supplemented with inorganic chromium[J].Biological Trace Element Research,2014,159(1/2/3):115–127.

[4] 王林枫,杨改青,朱河水,等.奶山羊不同锌源的消化吸收规律及适宜添加量[J].中国农业大学学报,2011,16(6):124–131.

[5] ALIARABI H,FADAYIFAR A,MEHDI M,et al.Effect of Zinc source on hematological,metabolic parameters and mineral balance in lambs[J].Biological Trace Element Research,2015,168(1):82–90.

[6] NAGALAKSHMI D,RAO K S,KUMARI G A,et al.Comparative evaluation of organic zinc supplementation as proteinate with inorganic zinc in buffalo heifers on health and immunity[J].Indian Journal of Animal Sciences,2016,86(3):322–328.

[7] 徐宏波.有机锌化学特性及其对断奶仔猪效应的研究[D].硕士学位论文.合肥:安徽农业大学,2007.

[8] 张素华,王加启,龚月生.反刍动物有机锌营养研究进展[J].中国畜牧兽医,2002,29(3):2–6.

[9] 王刚,叶瑞卿,毛华明.蛋氨酸锌在反刍动物上的利用[J].中国畜牧兽医,2006,33(5):8–10.

[10] 朱世海.不同水平蛋氨酸锌对羔羊增重的影响[J].青海大学学报:自然科学版,2010,28(3):66–68.

[11] 吴志广.日粮添加蛋氨酸锌对奶牛生产性能及血液生化指标的影响[D].硕士学位论文.保定:河北农业大学,2006.

[12] 张素华.锌源对瘤胃发酵及日粮养分消化代谢的影响[D].硕士学位论文.杨凌:西北农林科技大学,2003.

[13] GARG A K,MUDGAL V,DASS R S.Effect of organic zinc supplementation on growth,nutrient utilization and mineral profile in lambs[J].Animal Feed Science and Technology,2008,144(1/2):82–96.

[14] CHAUDHARY U B,TRIPATHI M K,GUPTA B,et al.Effect of inorganic and organic zinc and copper supplementation on performance,nutrient utilization,rumen fermentation and blood biochemistry of kids[J].Indian Journal of Animal Sciences,2013,83(12):1313–1322.

[15] NAGALAKSHMI D,HIMABINDU D.Effect of zinc supplementation from organic and inorganic sources on performance,nutrient utilization and carcass characteristics in lambs[J].Indian Journal of Animal Sciences,2013,83(4):411–418.

[16] NAYERI A,UPAH N C,SUCU E,et al.Effect of the ratio of zinc amino acid complex to zinc sulfate on the performance of Holstein cows[J].Journal of Dairy Science,2014,97(7):4392–4404.

[17] FORMIGONI A,FUSTINI M,ARCHETTI L,et al.Effects of an organic source of copper,manganese and zinc on dairy cattle productive performance,health status and fertility[J].Animal Feed Science And Technology,2011,164(3/4):191–198.

[18] SALAMA A A K,CAJA G,ALBANELL E,et al.Effects of dietary supplements of

zinc-methionine on milk production,udder health and zinc metabolism in dairy goats[J].Journal of Dairy Research,2003,70(1):9–17.

[19] 张丽英.饲料分析及饲料质量检测技术[M].3 版.北京:中国农业大学出版社,2007:48–80.

[20] 吴宁,徐稳,王恬.不同锌源对哺乳母猪及其仔猪生产性能的影响[J].饲料工业,2011,32(23):13–15.

[21] 任二军,蒋清奎,杨福合,等.日粮不同锌添加水平对育成期雄性水貂消化代谢、生长性能和血清生化指标的影响[J].中国畜牧兽医,2012,39(6):104–108.

[22] 张福全,敖长金,哈斯额尔敦,等.阴外动脉灌注氨基酸对泌乳奶牛乳中主要脂肪酸组成的影响[J].畜牧兽医学报,2016,47(3):529–535.

[23] FAULKNER M J,WEISS W P.Effect of source of trace minerals in either forage- or by-product-based diets fed to dairy cows:1.Production and macronutrient digestibility[J].Journal of Dairy Science,2017,100(7):5358–5367.

[24] 毕晓华,张晓明.过瘤胃保护蛋氨酸对奶牛氨基酸代谢和血液生化指标的影响[J].饲料研究,2014(21):48–53.

[25] WANG R L,LIANG J G,LU L,et al.Effect of zinc source on performance,zinc status,immune response,and rumen fermentation of lactating cows[J].Biological Trace Element Research,2013,152(1):16–24.

[26] GRIFFITHS L M,LOEFFLER S H,SOCHA M T,et al.Effects of supplementing complexed zinc,manganese,copper and cobalt on lactation and reproductive performance of intensively grazed lactating dairy cattle on the South Island of New Zealand[J].Animal Feed Science and Technology,2007,137(1/2):69–83.

[27] SOBHANIRAD S,CARLSON D,KASHANI R B.Effect of zinc methionine or zinc sulfate supplementation on milk production and composition of milk in lactating dairy

cows[J].Biological Trace Element Research,2010,136(1):48–54.

[28] STOOP W M,BOVENHUIS H,HECK J M L,et al.Effect of lactation stage and energy status on milk fat composition of Holstein-Friesian cows[J].Journal of Dairy Science,2009,92(4):1469–1478.

Effects of Different Zinc Sources on Growth Performance in *Xiangdong* Black Goat and Composition, Amino Acid and Fatty Acid Contents of Goat Milk

ZHENG Mengli[1,2] LI Siyuan[1*] ZHANG Peihua[1**] CHEN Dong[1]

WANG Kaijun[1,2] YAN Qiongxian[2,3**] ZHOU Chuanshe[2,4]

(1. *College of Animal Science and Technology, Hunan Agricultural University*, *Changsha* 410128, China; *2. Key Laboratory of Agro-ecological Processes in Subtropical Region, Institute of Subtropical Agriculture, Chinese Academy of Sciences; National Engineering Laboratory for Pollution Control and Waste Utilization in Livestock and Poultry Production; Hunan Provincial Engineering Research Center for Healthy Livestock and Poultry Production; Scientific Observing and Experimental Station of Animal Nutrition and Feed Science in South-Central, Ministry of Agriculture, Changsha* 410125*, China;* *3. Hunan Co-Innovation Center for Utilization of Botanical Functional Ingredients, Changsha* 410128*, China*；*4. Hunan Co-Innovation Center of animal Production Safety Changsha* 410128*, China*)

Abstract: The aim of this trial was to investigate the effects of different zinc sources (zinc sulphate, methionine chelated zinc and glycine chelated zinc) on growth performance in Xiangdong Black goat and the composition, amino acid and fatty acid contents of goat milk. Twenty-one healthy *Xiangdong* black goats with twin pregnancy, similar parity and body weight (38.1±9.7) kg were randomly divided into 3 groups, zinc sulfate (CON) group, methionine chelated zinc (Zn-Met) group and glycine chelated zinc (Zn-Gly) group. The dietary composition of the sheep in each group was the same and both contained 40 mg/kg zinc. The pre-trial period was 7 days and the trial period was 42 days. During the trial period, 3 groups of goats were fed different zinc source diets and postpartum goats were fed diets without zinc addition. Milk samples were collected on

day 15 after delivery. The results showed as follows: 1) compared with CON group, total weight gain and average daily gain in Zn-Met and Zn-Gly groups were increased (P<0.05). 2) The somatic cell count, milk fat, milk protein, lactose, urea nitrogen, and non-fat dry matter contents of milk in Zn-Met and Zn-Gly groups were not significantly different (P>0.05), but the total dry matter content in Zn-Met group was significantly increased (P<0.05). 3) Compared with CON group, the amino acid contents in Zn-Met and Zn-Gly groups had no significant differences (P>0.05). 4) Compared with CON group, n-hexanoic acid, caprylic acid, lauric acid, tridecanoic acid, γ-linolenic acid contents in Zn-Met group were significantly increased (P<0.05), while wood wax acid, cis-11-eicosenoic acid and γ-linolenic acid contents in the Zn-Gly group were significantly increased (P<0.05). In conclusion, Zn-Met could increase the total dry matter content in goat milk. Zn-Gly could reduce the contents of monounsaturated fatty acids and polyunsaturated fatty acids in goat milk, and increase the total weight gain and average daily gain of pregnant ewes, indicating that supplemental Zn-Met and Zn-Gly can improve the growth performance of pregnant ewes and change the quality of goat milk.

Key words: zinc source; growth performance; goat milk; amino acid; fatty acid; *Xiangdong* black goat

*Contributed equally author

*Corresponding authors: ZHANG Peihua, associate professor, E-mail: peiqin41-@163.com;

YAN Qiongxian, assistant professor, E-mail:yanqx14@isa.ac.cn (责任编辑　陈　鑫)